

2019 年 5 月 25 日

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

複合要因を考慮した内示生産システムの ブルウィップ効果

横井 稜

富山県立大学 情報基盤工学講座

本研究の背景

- はじめに
- サプライチェーンにおけるブルウップ効果
- 数値実験の結果
- 考察（まとめ）
- 今後の課題

サプライチェーンの課題の一つに、取引する人の心的要因やサプライチェーンの上流から下流への情報伝達の遅れなどの要因が重なり、サプライチェーンの上流に行くほど需要量のばらつきが増大する現象がある。その現象をブルウップ効果といい、変動に対応するために上流のサプライヤーほど在庫を多く保有する傾向にあり、余剰在庫が経営状態を悪化させる。

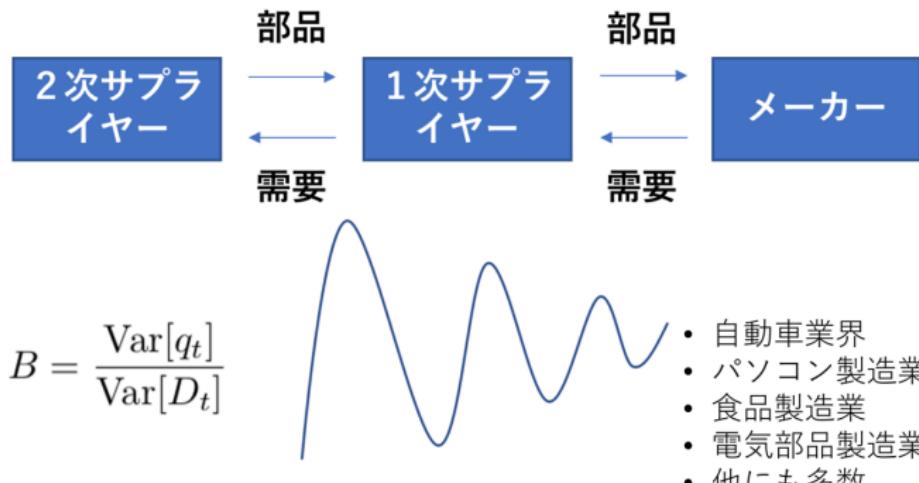
本研究の目的

先行研究では、ブルウップ効果に影響する要因を限定して考察している。しかし、現実には多くの複合的な要因が影響している。そこで、複合的要因を考慮した効果を明らかにする。特に、内示生産システムでは提示される特徴的な要因をも考慮する必要がある。本発表では、シミュレータを開発し複合要因の影響度合いを明確化する。

2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果

3/14

- はじめに
- サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
- 数値実験の結果
- 考察（まとめ）
- 今後の課題



需要に鞭のようなバラツキが発生

図1 サプライチェーンとブルウィップ効果

B : ブルウィップ効果、 $\text{Var}[q_t]$: 発注量の分散
 $\text{Var}[D_t]$: 需要量の分散

小売業におけるブルウィップ効果

4/14

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

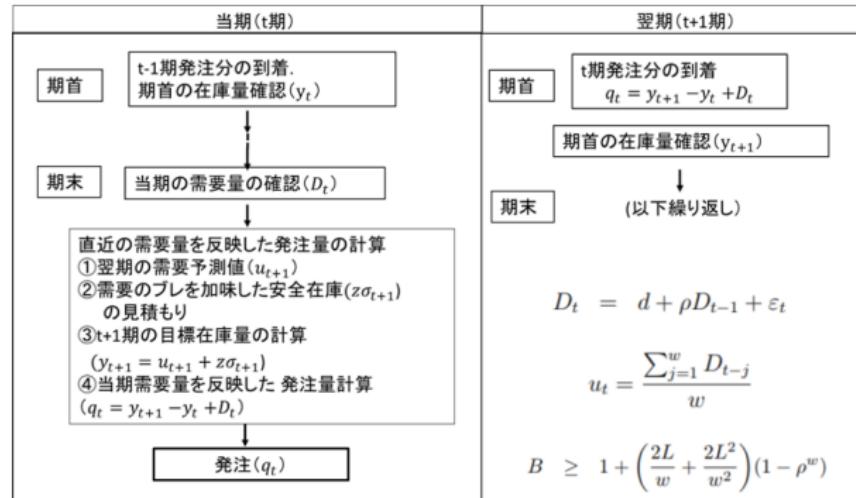


図 2 小売業の発注方法

- ρ : 前期の需要量との相関を表すパラメータ, L : リードタイム
 w : 移動平均における過去のデータの採取数, ε_t : 需要予測値の誤差
 z : 安全在庫係数, σ_t : t 期における需要予測誤差の標準偏差の推定量
 d : 需要量の平均

小売業におけるブルウィップ効果

5/14

ρ : 前期の需要量との相関を表すパラメータ、 L : リードタイム
 w : 移動平均における過去のデータの採取数

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

$$B \geq 1 + \left(\frac{2L}{w} + \frac{2L^2}{w^2} \right) (1 - \rho^w)$$

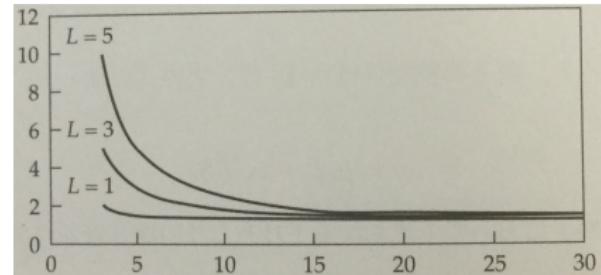


図 2 縦軸 B , 横軸 w のグラフ

限定されたパラメータを用いており、ブルウィップ効果は単調的な結果である。

ブルウィップ効果の要因

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

- ① 発注から納入までのリードタイム
- ② 発注量のバッチ単位の注文方式
- ③ 複数の要因を考慮した発注方式
- ④ 需要のばらつき
- ⑤ サプライヤーの生産計画手法
- ⑥ 意思決定者のオーバーアクション
- ⑦ 上流に行くほど製造ロットが大きい
- ⑧ サプライヤー間の情報共有
- ⑨ 価格割引
- ⑩ 内示変動のときのトレンドやばらつきの変動
- ⑪ 安全在庫目標の決め方

これらの複合的要因がブルウィップ効果に影響を及ぼす。

内示生産システムについて

7/14

- はじめに
- サプライチェーンにおけるブルウップ効果
- 数値実験の結果
- 考察（まとめ）
- 今後の課題

	M0				M1				M2				M3			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
月次内示	▽ 金				日別/週別/月別（～M4） ※直近は日量、期間によって適量、月量となる				日別/週別（～M2） ※直近は日量、期間によって適量となる							
週次内示	▽ 金 ▽ 金				■											
納入指示（日）	▽ 金 ▽ 金				3日前先1日確定											

図3 内示生産システムの発注方法

このシステムは、定時定期的に内示という予測値が提示される。

シミュレータについて

8/14

- はじめに
- サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
- 数値実験の結果
- 考察（まとめ）
- 今後の課題

内示、基準搬入量、工場使用量、安全在庫目標、繰越在庫の初期値のパラメータを与えると **1000** 日分のブルウィップ効果を含む様々な結果を表示する。繰越在庫が安全在庫目標の 2 分の 1 以下の場合に発注し、その不足量を発注量とする。

σ	内示	1162 安日								150								
		80								1M								
		初期		1 月	2 火	3 水	4 木	5 金	6 月	初期		1 月	2 火	3 水	4 木	5 金	6 月	
①	内示	–		1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	
②	基準搬入量	–		922	922	922	922	922	922	922	922	922	922	922	922	922	922	
③	追加搬入量	–		0	1797	0	0	0	0	0	1044	0	0	0	0	0	0	
④	搬入量合計	–		922	2719	922	922	922	922	922	1966	922	922	922	922	922	922	
⑤	工場使用量	–		1190	1095	1210	1152	1210	1287	1344	13	1210	1287	1344	13	1210	1287	1344
⑥	安全在庫目標	–		1709	1738	1750	1773	1774	1772	1766	17	1709	1738	1750	1773	1774	1772	1766
⑦	繰越在庫	180		–88	1536	1248	1018	730	1409	987	5	180	–88	1536	1248	1018	730	1409
⑧	緊急発注量	–		1797	0	0	0	0	0	0	11	1797	0	0	0	0	0	11
	判定	–		× ×	□	□	□	×	□	□	×	□	□	□	□	□	×	
	充足量	–		1102	1095	1210	1152	1210	1287	1344	13	1102	1095	1210	1152	1210	1287	1344

○	□	×	× ×	平均在庫	搬入回数	追加搬入量合計	在庫切れ回数	充足率
156	634	210	0	1272	210	230097	0	100%

	平均	標準偏差	BULLWHIP効果
工場使用量	1167.54	310.09	1.51
追加搬入量	246.79	468.32	

図 4 シミュレータ

結果 1

9/14

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

表1 リードタイムと需要のばらつきによるブルウィップ効果

リードタイム \ 需要のばらつき	10	50	100	200	300
1	3.19	1.53	1.00	0.73	0.68
2	3.06	1.51	0.98	0.76	0.65
3	3.11	1.56	0.99	0.73	0.64
5	3.22	1.54	1.02	0.91	0.91
10	7.77	3.79	3.43	2.90	2.70
15	23.83	6.32	4.65	3.98	3.81
30	94.11	20.25	11.31	7.23	6.28

需要のばらつきが大きくなると、ブルウィップ効果は小さくなる。リードタイムを同時に考慮しても、単調的な変化となる。

結果 2

10/14

表2 リードタイムとロット数によるブルウィップ効果

リードタイム \ ロット数	800	1000	1200	1500	2000
1	0.32	1.52	0.63	0	3.03
2	0.41	1.52	0.57	0	3.01
3	0.42	1.51	0.69	0	3.09
5	0.63	1.60	0.81	0	3.11
10	2.12	2.50	2.39	1.61	3.51
15	3.53	3.86	3.95	3.45	4.26
30	6.20	6.21	6.90	6.48	6.48

ロット数が一定で、リードタイムが大きくなると、効果は大きくなる。リードタイム一定では、ロット数の変化に対して効果は単調的な変化ではない。需要の平均に対してロット数が小さな場合や大きいロット数の場合には分散が小さくなる傾向である。さらに、ロット数が増えると発注が間欠的になり、分散が大きくなる傾向である。

結果 3

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

表3 ロット数と需要のばらつきによるブルウップ効果

ロット数 \ 需要のばらつき	10	50	100	200	300
800	0	0	0	0.12	0.51
1000	0	4.18	3.52	2.26	1.48
1200	0	0	0	0.41	0.78
1500	0	0	0	0	0
2000	0	9.15	6.15	4.41	3.27

ロット数と需要のばらつきにより、発注数量の大きさが変化したり、また、発注の間隔が変化するために、発注量の分散は多岐に変化する。単調的な変化の傾向はない。

結果 4

12/14

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

表1 最小ロット数と需要のばらつきによるブルウィップ効果

需要のばらつき \ 最小ロット数	2000	2500	3000	3500	4000
10	0.01	0	0	0	0
50	0.12	0	0	0	0
100	0.25	0	0	0	0
200	0.4	0	0	0	0
300	0.43	0.03	0	0	0

需要のばらつきが大きくなると、ブルウィップ効果は大きくなる。
 最小ロット数が大きくなると、ブルウィップ効果は小さくなる。ブル
 ウィップ効果は、単調的な変化となった。

結果 5

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウィップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

表2 リードタイムと最小ロット数によるブルウィップ効果

リードタイム \ 最小ロット数	2000	2500	3000	3500	4000
1	0.36	0.01	0	0	0
2	0.37	0.01	0	0	0
3	0.38	0.01	0	0	0
5	0.7	0.08	0	0	0
10	2.39	1.88	0.96	0.13	0
15	3.57	3.49	2.86	2.32	1.31
30	5.96	6.22	5.87	5.86	5.65

ロット数が一定で、リードタイムが大きくなると、ブルウィップ効果は大きくなる。リードタイム一定では、リードタイム 30 日の場合を除いて、ロット数の変化に対して効果は単調的な変化となった。リードタイム 30 日の場合に変化が少なかったのは、ほとんど発注が行われないため緊急発注量が膨大になり最小ロット数によって制御されるのが最初の発注のみとなるからである。

1. はじめに
2. サプライチェーンにおけるブルウェイップ効果
3. 数値実験の結果
4. 考察（まとめ）
5. 今後の課題

考察

- ① リードタイムと需要のばらつきによるブルウェイップ効果は単調的な変化である。
- ② リードタイムとロット数によるブルウェイップ効果、需要のばらつきとロット数によるブルウェイップ効果はどちらも単調的な変化ではない。
- ③ ロット数などの実際的条件を織り込んだ複合的な要因を考慮すると、発注量の数量の大きさの変化、発注の間隔、間歇性などが起こっていると思われる。

シミュレーター

1. はじめに
2. シミュレーター
3. 結果
4. おわりに

- ① EXCEL 版のシミュレーターの機能を持つ C 言語のシミュレーター
- ② リードタイムやロット数などの要因の水準を 0 と 1 で表した直交表が書かれた CSV ファイルを読み込むことで、ブルウィップ効果等の結果が CSV ファイルに出力される。

リードタイム							最小ロット						倍数ロット						需要のばらつき					
1	2	3	5	10	15	30	1500	2000	2500	3000	3500	4000	800	1000	1200	1500	2000	10	50	100	200	300		
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

図 2 ブルウィップ効果の要因の直交表の例

結果 (1)

4/9

- はじめに
- シミュレーター
- 結果
- おわりに

▼	out_dat	今日 14:14	--	フォルダ
▼	Bullwhip	今日 4:12	--	フォルダ
	Bullwhip_0.csv	今日 4:11	5 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_1.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_2.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_3.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_4.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
▼	Bullwhip_0	今日 4:12	--	フォルダ
	Bullwhip_0_0.csv	今日 4:11	50 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_0_1.csv	今日 4:11	50 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_0_2.csv	今日 4:11	52 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_0_3.csv	今日 4:11	48 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_0_4.csv	今日 4:11	49 KB	Comm...et (.csv)
▼	Bullwhip_effect	今日 4:12	--	フォルダ
	Bullwhip_effect_0.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_effect_1.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_effect_2.csv	今日 4:11	7 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_effect_3.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)
	Bullwhip_effect_4.csv	今日 4:11	6 KB	Comm...et (.csv)

図 3 結果のファイル

結果 (2)

1. はじめに
2. シミュレーター
3. 結果
4. おわりに

	A	B	C	D
1	1200 0 0 0 0 0 1000 0 0 0			
2	1200 1170 0 1170 1208 1796 962 0 2 1208			
3	1200 1170 0 1170 1211 1796 921 0 2 1211			
4	1200 1170 0 1170 1196 1796 895 1500 1 1196			
5	1200 1170 1500 2670 1181 1795 2384 0 3 1181			
6	1200 1170 0 1170 1209 1797 2345 0 3 1209			
7	1200 1170 0 1170 1179 1797 2336 0 3 1179			
8	1200 1170 0 1170 1200 1799 2306 0 3 1200			
9	1200 1170 0 1170 1222 1798 2254 0 3 1222			
10	1200 1170 0 1170 1200 1798 2224 0 3 1200			
11	1200 1170 0 1170 1208 1798 2186 0 3 1208			
12	1200 1170 0 1170 1207 1797 2149 0 3 1207			
13	1200 1170 0 1170 1195 1797 2124 0 3 1195			
14	1200 1170 0 1170 1209 1797 2085 0 3 1209			
15	1200 1170 0 1170 1186 1796 2069 0 3 1186			
16	1200 1170 0 1170 1196 1797 2043 0 3 1196			
17	1200 1170 0 1170 1207 1797 2006 0 3 1207			

図 4 シミュレータ結果の一部 (1)

結果 (3)

6/9

1. はじめに
2. シミュレーター
3. 結果
4. おわりに

	A	B	C	D
1	395 585 20 0 1632.216000	20 30000 0 1.000000		
2	383 597 20 0 1626.987000	20 30000 0 1.000000		
3	385 595 20 0 1620.748000	20 30000 0 1.000000		
4	383 597 20 0 1615.721000	20 30000 0 1.000000		
5	387 593 20 0 1626.418000	20 30000 0 1.000000		
6	369 611 20 0 1614.478000	20 30000 0 1.000000		
7	394 586 20 0 1633.610000	20 30000 0 1.000000		
8	390 590 20 0 1629.659000	20 30000 0 1.000000		
9	397 583 20 0 1633.119000	20 30000 0 1.000000		
10	379 601 20 0 1618.253000	20 30000 0 1.000000		
11	385 595 20 0 1623.909000	20 30000 0 1.000000		
12	398 582 20 0 1634.973000	20 30000 0 1.000000		
13	404 576 20 0 1633.907000	20 30000 0 1.000000		
14	392 588 20 0 1624.937000	20 30000 0 1.000000		
15	388 592 20 0 1614.948000	20 30000 0 1.000000		
16	392 588 20 0 1628.990000	20 30000 0 1.000000		
17	383 597 20 0 1617.575000	20 30000 0 1.000000		
18	386 594 20 0 1622.121000	20 30000 0 1.000000		

図 5 シミュレータ結果の一部 (2)

結果 (4)

1. はじめに
2. シミュレーター
3. 結果
4. おわりに

	A	B	C	D	E
1	1199.475000	30.000000	110.845375	44100.000000	19.946215
2	1199.597000	30.000000	102.890591	44100.000000	20.702913
3	1199.551000	30.000000	98.655399	44100.000000	21.142623
4	1198.683000	30.000000	108.294511	44100.000000	20.179764
5	1199.702000	30.000000	94.815196	44100.000000	21.566532
6	1199.926000	30.000000	104.484524	44100.000000	20.544393
7	1199.776000	30.000000	100.341824	44100.000000	20.964200
8	1199.804000	30.000000	95.835584	44100.000000	21.451413
9	1199.467000	30.000000	96.578911	44100.000000	21.368702
10	1199.756000	30.000000	99.904464	44100.000000	21.010038
11	1199.575000	30.000000	102.476375	44100.000000	20.744712
12	1199.369000	30.000000	99.780839	44100.000000	21.023050
13	1199.315000	30.000000	103.479775	44100.000000	20.643891
14	1199.658000	30.000000	94.803036	44100.000000	21.567915
15	1199.189000	30.000000	102.227279	44100.000000	20.769971
16	1199.397000	30.000000	89.649391	44100.000000	22.179187
17	1198.975000	30.000000	97.906375	44100.000000	21.223344
18	1199.704000	30.000000	100.212381	44100.000000	20.977725

図 6 シミュレータ結果の一部 (3)

並列化の結果

並列化の実験方法

ラズパイクラスタと MPICH を使用してプログラムを並列化した。
今回は、1,2,4,8 台でそれぞれ 38 通りの実験を行いその時間を計測した。

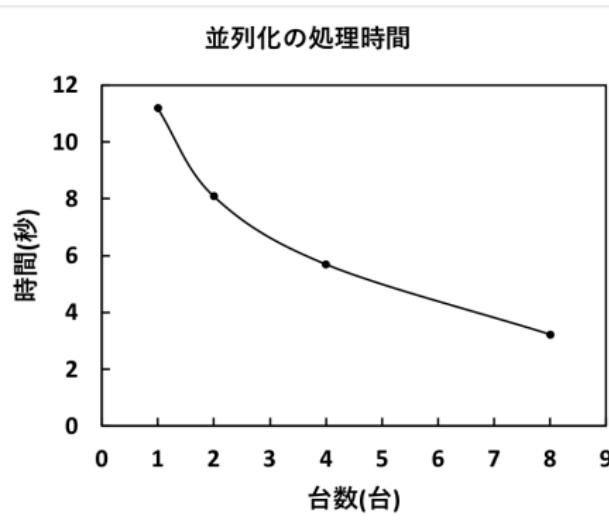


図 7 並列化の処理時間

- はじめに
- シミュレーター
- 結果
- おわりに

今後の課題

1. はじめに
2. シミュレーター
3. 結果
4. おわりに

- ① 直交表自動作成アルゴリズムの作成**
- ② 実装していない要因の追加**
- ③ 新しい出力結果の考慮**